

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Д. В. Дядін**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**з дисципліни**

**«ІНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЛІТОСФЕРИ МІСТА»**

*(для студентів 5 курсу денної форми навчання  
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю  
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2017**

**Дядін Д. В.** Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Інженерно-екологічна безпека літосфери міста» для студентів 5 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища / Д. В. Дядін ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 32 с.

Автор Д. В. Дядін

Рецензент канд. с.-г. наук, доц. О. М. Дрозд

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 1  
від 01.09.2016 р.

## ЗМІСТ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 НЕБЕЗПЕЧНІ ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТ .....	4
Тема 1 Геологічне середовище міських територій .....	4
Тема 2 Ендогенні небезпечні геологічні процеси.....	4
Тема 3 Екзогенні небезпечні геологічні процеси .....	8
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЛІТОСФЕРИ МІСТА .....	20
Тема 4 Засади і методи оцінки екологічної безпеки літосфери міста ....	20
Тема 5 Оцінка ризиків, пов'язаних з геологічним середовищем.....	21
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 СИСТЕМА ІНЖЕНЕРНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА.....	23
Тема 6 Моніторинг геологічного середовища .....	23
Тема 7 Інженерні методи захисту територій від небезпечних геологічних процесів та ліквідації їх наслідків .....	24
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

# **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1**

## **НЕБЕЗПЕЧНІ ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТ**

### **Тема 1 Геологічне середовище міських територій**

Геологічні риси будь-якої території постійно змінюються, інколи швидко, частіше непомітно для людини. Ці зміни зумовлені геологічними процесами, які називають ендегенними, якщо вони пов'язані з виявом внутрішньої енергії Землі, й екзогенними, коли вони спричинені дією зовнішніх чинників – вітру, поверхневих вод, вивітрювання тощо.

Активна господарська діяльність призводить до посилення екзогенних геологічних процесів, які іноді навіть називають інженерно-геологічними.

Геологічні процеси, які негативно впливають на функціонування господарських і промислових об'єктів, територій, створюють загрозу здоров'ю й життю людини, називають небезпечними геологічними процесами (НГП).

### **Тема 2 Ендегенні небезпечні геологічні процеси**

Із виявами глибинної енергії Землі пов'язані землетруси і виверження вулканів, які за своїми наслідками є чи не найбільш руйнівними природними явищами. У двадцятому сторіччі внаслідок землетрусів у різних країнах загинуло більше 1,5 мільйонів осіб. Із найбільших землетрусів цього періоду можна назвати поштовх у Сан-Франциско у квітні 1906 р. Під уламками будівель і внаслідок пожеж, що спалахнули, там загинуло більше тисячі осіб. У грудні 1972 р. два поштовхи з двогодинним інтервалом забрали життя майже 10 тис. жителів Манагуа, столиці Нікарагуа. У грудні 1988 р. у Вірменії відбувся землетрус, жертвами якого стали 25 тис. жителів міст Спітак і Ленінакан. У перші роки ХХІ століття вже сталася низка доволі руйнівних землетрусів у Туреччині, Уругваї, Китаї. У січні 2010 року масштабний землетрус магнітудою 7 балів потряс острів Гаїті, майже повністю спустошивши столицю – крупне місто Порт-о-Пренс. Кількість загиблих оцінюється більше, ніж у 220 тис. осіб.

**Землетруси** – це поштовхи й коливання земної кори, пов’язані зі швидким стрибкоподібним вивільненням енергії у глибинах Землі. Зважаючи на глибину розташування гіпоцентру (місце виникнення підземного поштовху), землетруси поділяють на корові, або поверхневі (0–50 км), проміжні (50–100 км) і глибокі (більше 100 км). Найбільшу частот виявів мають землетруси із розташуванням гіпоцентру до глибини 60 км. В епіцентрі землетрусу, який визначають як проекцію гіпоцентру до поверхні Землі, можуть виникати тріщини завширшки до кількох метрів і провали, що поглинають будови та людей. Крім руйнації будівель, землетруси часто стимулюють активізацію таких процесів, як зсуви, обвали, повені, цунамі.

Із найбільшою частотністю землетруси відбуваються в районах розвитку молоді (альпійської за віком) складчастості й опускання земної кори, які утворюють на земній кулі два пояси: субширотний Альпійсько-Гімалайський і кільцеподібний Тихоокеанський (рис. 1.1). В Україні найбільшою сейсмічною активністю відзначаються Карпати і Кримсько-Чорноморська зона, де у двадцятому столітті зафіксовані землетруси силою 7–8 балів за 12-бальною шкалою.

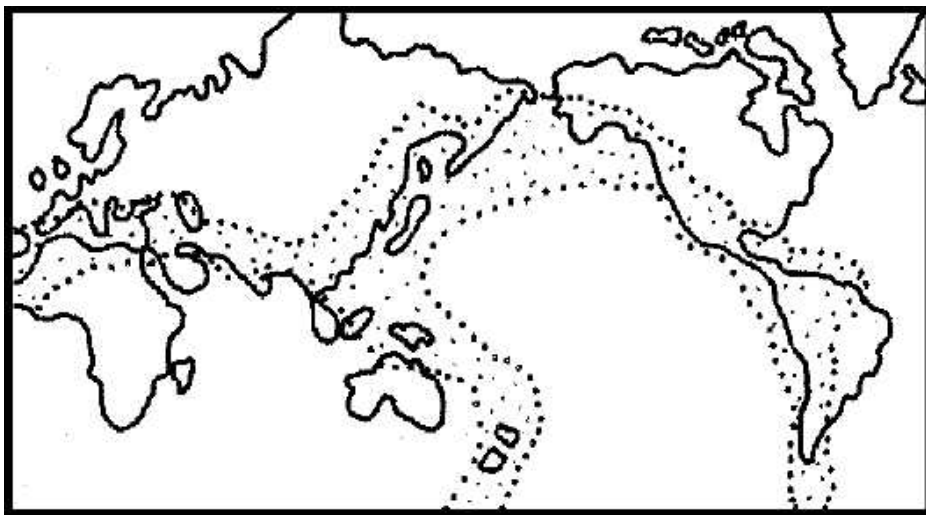


Рисунок 1.1 – Схема розташування зон сейсмічної активності у світі (широтна крапчаста зона – Альпійсько-Гімалайська, кільцева – Тихоокеанська)

За напрямку розповсюдження сейсмічних хвиль вхрест простягання геологічних структур і тектонічних порушень інтенсивність землетрусу зменшується.

Підвищенню сейсмічності території сприяє високий рівень підземних вод, висока вологість ґрунтів, велика крутість схилів, наявність горбів, ярів, тектонічних порушень. До територій, що є дуже чутливими до виявів сейсмічності (коливань і поштовхів земної кори), належать заплави річок.

Сейсмічність території суттєво підвищується за рахунок техногенно спричиненого перерозподілу мас у геологічному середовищі, який відбувається при відкачуванні газу, нафти, підземних вод, створенні водосховищ і відвалів гірських порід великого об'єму.

Велика частина сучасних вулканів так само, як і місця вияву землетрусів, пов'язана з Тихоокеанським кільцем і Альпійсько-Гімалайським поясом. За оцінками вулканологів, на суші наразі відомі близько 600 вулканів, які діють, і кілька тисяч згаслих. За місяць у середньому від 5 до 15 із них виявляють активність, яка супроводжується викидами гарячих газів, попелу й лави. Великі виверження трапляються значно рідше, проте їхні наслідки бувають катастрофічними. Однак, незважаючи на небезпеку, люди для створення поселень обирають схили вулканів завдяки високій родючості ґрунтів, які формуються на вулканічному попелу. Як приклад можна навести густо заселені схили вулканів Везувій та Етна в Італії, хоча відомо, що в 79 році до н. е. попіл, викинутий Везувієм, знищив ціле місто Помпею.

Під час виверження вулкана викидається величезна кількість попелу, який розсівається в повітрі, а найлегші частинки залишаються у верхніх шарах атмосфери роками. У червні 1991 р. за період двотижневого виверження вулкана Пінатубо, розташованого приблизно в 100 км від Маніли, столиці Філіппін, у повітря було викинуто від 2 до 5 км<sup>3</sup> ефузивного матеріалу й близько 20 млн т сірки. При цьому стовп попелу й газів піднявся на висоту до 25 км. За наслідками моделювання ці об'єми викидів повинні сприяти

глобальному похолоданню на 0,5 °С. Становище у районі вулкана Пінатубо, що не виявляв активності впродовж 600 років, було таким серйозним, що з американської військової бази, розташованої поблизу, були вивезені ядерні боєголовки до ракет, оскільки виникла небезпека руйнування сховищ, де вони розміщувалися. Жертвами цього виверження стали 136 осіб. Того ж року виверження вулкана Узен поблизу Нагасакі в Японії, хоча й було прогнозоване, забрало життя 38 осіб.

Вияви вулканічної активності, навіть без людських жертв, можуть завдавати величезних збитків людському суспільству, прикладом чого послужив ісландський вулкан Ейяф'ялайокуль, виверження якого сталося у квітні 2010 року. Попільна хмара від виверження посунулася в бік Європи й закрила частину її повітряного простору, паралізувавши авіасполучення багатьох європейських країн майже на тиждень. Збитки, що понесли туристичні фірми й авіакомпанії від призупинення перевезень обчислюються кількома млн доларів. При цьому, основним впливом попільних хмар на авіацію вважається не погіршення видимості, а ризик пошкодження часточками попелу реактивних двигунів і зовнішньої обшивки літаків. Крім того, в еруптивній колоні попелу, висота якої під час виверження цього вулкану сягала 11–13 км, генерується значний електричний струм, що призводить до виникнення електростатичних розрядів на поверхні літака й погіршення радіозв'язку.

Крупні виверження вулканів із викидами в повітря значної кількості попелу й газів зазвичай мають і віддалені в часі наслідки, які виявляються у тимчасових кліматичних змінах, іноді планетарного масштабу. Надходження частинок попелу до атмосфери призводить до відбивання сонячних променів і зниження температур на поверхні землі.

Досить поширеним явищем у нафтогазоносних районах є *грязьовий вулканізм*. В Україні грязьові вулкани локалізуються у Криму на Керченському півострові, зокрема три з них розташовані на території м. Керч. Постійно діючі

грязьові вулкани розташовані в улоговинах, на дні яких містяться грязьові озера й конуси з глинистої маси заввишки до 2 м. Грязьові вулканічні споруди періодичної дії в рельєфі мають вигляд конічних горбів заввишки до 60 м або пологих підвищень діаметром від сотні метрів до кількох кілометрів. Виверження їх з викидами густої глинистої брекчії, вибухами, іноді займанням газу, відбуваються протягом кількох діб один раз за кілька або десятки років. Грязьові вулкани починають діяти, коли пластовий тиск у глинистих породах, до яких вони зазвичай приурочені, перевищить гідростатичний. За цих умов газу, до складу яких входить метан, оксид вуглецю, азот, сірководень, аргон, вириваються на поверхню й викидають із глибини воду з різними домішками, уламки порід, перетертий глинистий матеріал.

Під час виверження 1982 р. один із вулканів у Керчі викинув до 100 тис. м<sup>3</sup> так званої сопкової брекчії, наслідком чого стали просадки земної поверхні й розриви міських водних трубопроводів. На Таманському півострові один із грязьових вулканів періодично викидає уламки мармурових колон храму, місце будівництва якого за часів візантійських поселень у Причорномор'ї, мабуть, було обрано невдало.

### **Тема 3 Екзогенні небезпечні геологічні процеси**

Формування своєрідного міського ландшафту з великою кількістю виїмок пухких техногенних відкладів, освоєнням схилів і заболочених ділянок на території промислово-міської агломерації призводить до різкої активізації екзогенних геологічних процесів, які набувають досить небезпечного характеру. В Україні налічують більше 320 міст і містечок, які потребують захисту від тих чи інших небезпечних геологічних процесів.

**Зсув** – сповзання маси порід вниз природним схилом або штучним укосом під впливом сили тяжіння. Поверхнею ковзання слугують найчастіше водотривкі породи, а тіло зсуву складають більш водопроникні ґрунти. Під час сходження зсуву утворюються зсувні форми рельєфу. На поверхні тіла зсуву вирізняють однарусні або багаторусні тераси з локальними пониженнями,



горби та пасма. На схилах у місцях відриву тіла зсуву формуються від'ємні форми – цирки зсуву.

За типом, формою, об'ємом, швидкістю руху й іншими ознаками зсуви дуже різноманітні (фронтальні, лінійні, видавлювання, зсуви-потоки або блокові, зсуви техногенного походження тощо). Об'єм зсувів може варіюватися від десятків кубічних метрів до сотень тисяч, швидкість руху – від міліметрів за тиждень до десятків кілометрів за годину. Окрім зсувів, що діють, існують такі, що завмерли, тобто рух яких протягом тривалого часу не фіксується геодезичними методами.

Причиною сходження зсувів є порушення рівноваги схилу внаслідок впливу як природних, так і антропогенних чинників: надмірного зволоження порід за рахунок атмосферних опадів, витоків із мереж водопостачання й водовідведення, поливу території, підтоплення, вивітрювання ґрунтів, підмиву схилу течією чи підрізування схилів під час прокладання доріг, трубопроводів або розробці кар'єрів, додаткове навантаження на схил унаслідок його забудови, сейсмічні поштовхи, вібраційна дія транспортних засобів або вибухів.

На території міст одночасно виявляється дія як природних, так і антропогенних чинників зсувоутворення, що призводить до підвищення частоти виявів цих небезпечних процесів. Наведемо кілька прикладів утворення зсувів на урбанізованих територіях за різних умов. У районах вуглевидобування в Англії й Україні зсувоутворення пов'язане з насиченням водою переважно глинистих відвальних порід. На заході США у 1980 р. сходження значного зсуву було викликане сейсмічними поштовхами, якими супроводжувалося виверження вулкана Сент-Хеленс. У мегаполісі Гонконгу зсуви були пов'язані з забудовою й підрізуванням доволі крутих схилів.

У містах України найбільш масштабними були вияви зсувних процесів у Дніпропетровську й Чернівцях. Уперше детальний опис зсуву в центральній частині Чернівців, розташованої на р. Прут, у 1895 р. зробив німецький геолог Бекке. Надалі катастрофічна активізація зсувів у межах міської території

Чернівців відбувалася багаторазово протягом 1962–1999 років. Наприклад, зсув площею 150 м<sup>2</sup>, який активізувався в лютому 1995 р., захопив житлові будинки, інженерні споруди, складські приміщення. Усього було зруйновано близько 30 житлових будинків, серйозних матеріальних збитків завдано чотирьом промисловим підприємствам, функціонування міської лікарні опинилося під загрозою. Основною причиною зсувів у Чернівцях є перезволоження порід схилу унаслідок невідповідності поверхневого стоку, порушення умов дренажу території і підвищення рівня ґрунтових вод в результаті витоків з комунікацій, що забезпечують водопостачання міста. Ці антропогенні чинники значно посилюють роль кліматичних факторів (кількість атмосферних опадів складає 600–700 мм на рік) і геологічної будови ділянки, які створюють передумови для розвитку зсувів.

У Дніпропетровську на житловому масиві «Тополя – 1» катастрофічний зсув у червні 1997 р. призвів до руйнування багатоповерхового житлового будинку, школи, двох дитячих садків, одноповерхових житлових будівель, вивів із ладу інженерні комунікації. Людських жертв у цій катастрофі вдалося уникнути. Гідрогеологічні спостереження впродовж століття фіксували на цій території прогресуючий підйом рівня ґрунтових вод унаслідок витоків із мережі водопостачання й водовідведення та порушення режиму підземних вод під час забудови схилу річкової долини (рис. 1.2). У 1997 р. на території міста Дніпро (Дніпропетровськ) різко підвищилося інфільтраційне живлення ґрунтових вод унаслідок незвичайних кліматичних умов. Кількість атмосферних опадів сягала 801 мм/рік за багаторічної норми 483 мм/рік, а додаткове живлення за рахунок техногенних витоків на ділянці вияву зсуву становило 800 мм/рік.

Процесу сходження зсуву сприяло екранування делювієм ділянки розвантаження ґрунтових вод у балці й вібраційне навантаження за рахунок експлуатації залізничної колії, прокладеною балкою. Зсув у Дніпропетровську вважають «блискавичним», оскільки сповзання перезволожених лесових порід, що сформували тіло зсуву, відбулося протягом всього 10 годин.

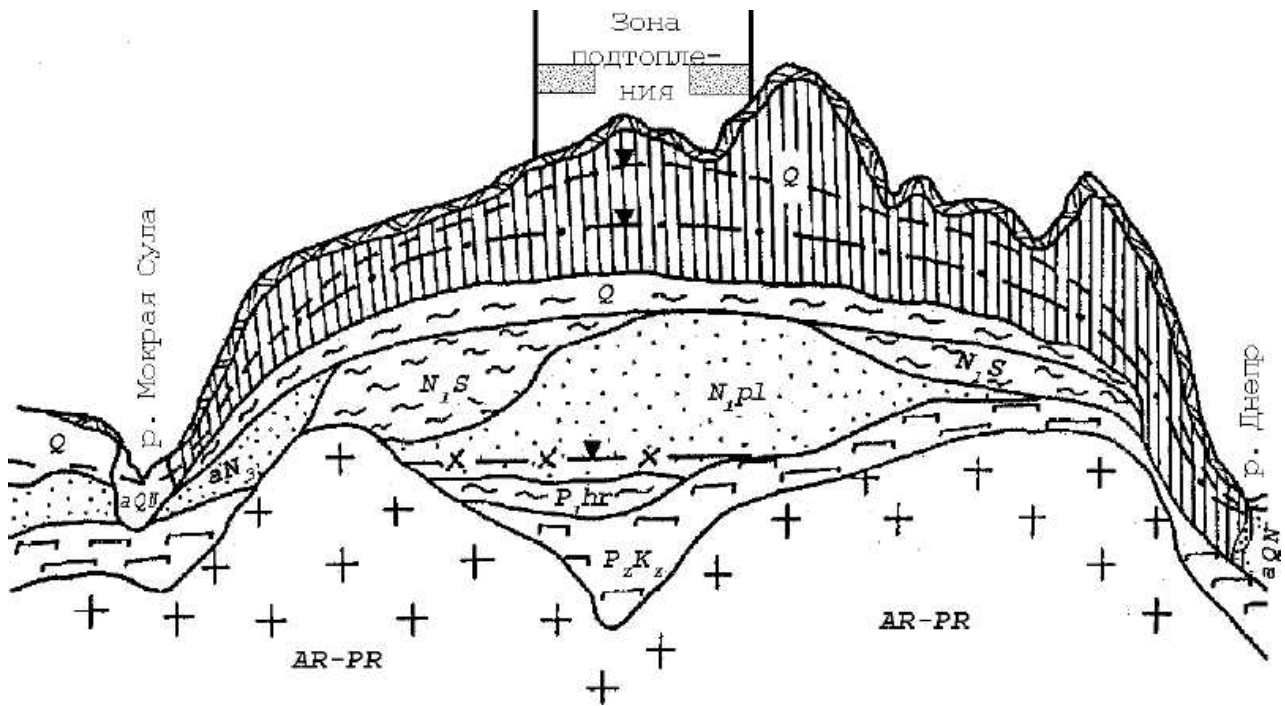


Рисунок 1.2 – Схема підтоплення правобережної частини м. Дніпро (за інформ. бюл. Мін. геології, 1997 р.):



Широко розвинені зсуви на узбережжі Чорного й Азовського морів, особливо біля Одеси, Бердянська, Маріуполя, Очакова, де вони поєднуються з абразійними процесами.

Зсуви часто є постачальниками матеріалу для грязьових потоків – селів. **Селі** – водні потоки, насичені твердим матеріалом. Формуються найчастіше під час зливових опадів і сніготанення в горбистих або гірських районах за наявності великої кількості пухкого, вивіреного матеріалу. Селі мають велику руйнівну силу внаслідок значної швидкості руху. Зона живлення селю є зазвичай верхньою частиною водозбірного басейну, що має круті схили. Зона транзиту – шлях руху селю лінією найбільшого падіння (із кутом падіння 25–40°), де швидкість його руху максимальна. Область розвантаження є

нижньою частиною долини річки або рівниною, де сель різко уповільнює рух, і внаслідок цього відбувається розвантаження принесеного твердого матеріалу. Залежно від кількісного співвідношення у складі селю води та твердого матеріалу, а у складі твердого – глинистих, пилюватих часток та уламків порід, – їх поділяють на зв'язні, незв'язні, брудокам'яні й водокам'яні. Найбільша густина у зв'язних селів (до  $1900 \text{ кг/м}^3$ ), найменша, – у водокам'яних (близько  $1100 \text{ кг/м}^3$ ). Широко відомі селевіявлення в Алмати, розташованому в передгір'ях Заїлійського Алатау, у Казахстані. Найбільш руйнівним був селевий потік 1921 р., під час якого загинуло більше 400 осіб, зруйнована велика кількість будівель. Територія міста була вкрита двометровим шаром твердого матеріалу, застиглого на зразок бетону. Загальний об'єм твердого матеріалу в складі селю оцінено як такий, що перевищував  $3,5 \text{ млн м}^3$ .

В Україні активне селевіявлення спостерігається в Карпатах у долинах річок Дністер, Прут, Тиса, Черемош, тобто в районах із кількістю опадів  $1000\text{--}1600 \text{ мм/рік}$ . У Криму водокам'яні селі з періодичністю від 20 до 7 років спостерігаються в долинах річок Альма, Бельбек, Кача.

На території міст України широко поширене таке явище, як *підтоплення*. На початок 21-го століття воно було зафіксоване в 244 містах і селищах країни. Площа підтоплення може сягати 30 %, а з урахуванням потенційного підтоплення навіть 50 % території міста, як, наприклад, в Харкові.

До підтоплених міських територій зараховують ті, на яких рівень ґрунтових вод у селитебній зоні знаходиться вище, ніж 2,5 м від рівня поверхні землі. На території зелених насаджень і рекреаційних зон, відповідно до санітарних норм України, допускається підвищення рівня ґрунтових вод до 1 м від поверхні. У той же час будівельні норми вимагають зниження рівня ґрунтових вод до 5 м на території окремих промислових підприємств і до 15 м на території великих промислових зон.

Основними причинами розвитку підтоплення в містах України є:

- засипання природних дрен (ярів, балок, стариць) під час підготовки території під забудову;
- недостатній розвиток мережі зливової каналізації й її поганий стан;
- створення водоймищ і замулення річок на території міст;
- розвиток мереж водопостачання без забезпечення водовідведення з території у відповідних обсягах;
- витoki з мереж водопроводу та каналізації й аварії на них;
- баражування підземних вод за рахунок будівництва пальових фундаментів, дорожніх насипів, підземних комунікацій, колекторів великого діаметру й тунелів метрополітену.

Підвищення рівня ґрунтових вод супроводжується зміною їхнього хімічного складу та забрудненням, збільшенням агресивності відносно будівельних матеріалів. Унаслідок обводнення ґрунтів знижується несуча спроможність підстави фундаменту, зазнають корозії будівельні матеріали і конструкції, у першу чергу бетон, що призводить до руйнації підземних комунікацій і конструкцій, забруднення ґрунтових вод внаслідок витоків із каналізаційних систем. Водонасичення ґрунтів провокує активізацію зсувних процесів, як в Дніпропетровську і Чернівцях. Стійка тенденція до підвищення рівня ґрунтових вод призводить до заболочування місцевості, обводнення підвалів і льохів, зміні фіто- й зооценозів на цій території. Типовим прикладом є розповсюдження в будинках із затопленими підвалами комарів, які належать до родів *Culex*, *Anopheles* і *Aedes*.

**Затоплення**, тобто утворення вільної поверхні води над земною поверхнею, є одним з найбільш поширених природних процесів, пов'язаних із виходом річок із берегів. Воно завдає великого матеріального збитку та супроводжується людськими жертвами. За даними американських дослідників, повінь на р. Міссісіпі в 1973 р. завдала збитку в 1 млрд 200 млн доларів, а осіння повінь у штаті Аризона в тому ж році забрала життя 13 осіб і завдала

збитків у 413 млн доларів. Затоплення в заплавах річок залежить від загальної кількості й розподілу атмосферних опадів, інфільтраційних характеристик ґрунтів і рельєфу місцевості. Затоплення території міст може відбуватися також унаслідок швидкого танення снігу та льоду, підпирання річкового стоку або прориву гребель. Затоплення міських вулиць і будов може спричинятися явищем нагання вітром морської води до гирла річок, що багато разів спостерігалось в Санкт-Петербурзі. Практично всі міста України, розташовані в заплавах річок, частково піддаються затопленню, особливо в роки з високою водозабезпеченістю.

**Ерозія** ґрунтів на території міст розвивається під впливом зосередженого поверхневого стоку, а іноді внаслідок аварій на водогонах чи трубопроводах теплових мереж. Прискорення процесу ерозії ґрунтів на значній площі відбувається під час будівельних робіт унаслідок розпушування і виймання ґрунтів. Інтенсивність ерозії в період будівництва в десять разів вища, ніж на землях сільськогосподарського використання. Уміст завислих речовин у водних потоках на території будівництва підвищується в десятки разів.

**Річкова ерозія** – результат дії водного потоку на річище, що полягає в його розмиванні, транспортуванні часточок й акумуляції наносів. Ерозійна робота річки залежить від витрат і швидкості потоку, петрографічного складу порід, у яких річка прокладає русло. Унаслідок ерозії виникає загроза для споруд, розташованих на берегах, які підмиваються річкою. Відкладення наносів у річищі призводить до обміління річки, ускладнює судноплавство, посилює загрозу підтоплення прилеглих територій. Зарегулювання річкового стоку в межах міських територій дозволяє знизити негативний вплив цих процесів.

Власне **суфозія**, або механічна суфозія, – явище винесення фільтраційним потоком дрібних часточок із незв'язного ґрунту. При цьому збільшується пористість ґрунту й розміри пор. **Контактний випор** відбувається у випадку, коли фільтраційний потік виносить суфозійні часточки з деформованого шару

породи до контактуючого з ним шару, де вони затримуються і формують новий різновид ґрунту, відмінний за зерновим складом і властивостями від вихідного. **Випор** – таке руйнування ґрунту, за якого приходить до руху певний його об'єм зі всіма фракціями, які його складають, з виходом деформацій на поверхню землі. Це призводить до розпушування частини ґрунту. Негативні наслідки суфозійних деформацій виявляються у формуванні зон послабленої міцності, тріщин у зв'язку зі зміною гранулометричного складу, щільності й пористості порід, обваленні бортів котлованів, порушенні покрівлі перекриваючих порід. Наслідком зміни водопроникності порід є збільшення водопритоку до підземних виробок і котлованів, колюматування і вихід із ладу зворотних фільтрів і дренажів у водопонижувальних системах.

**Карстоутворенням** називають складний геологічний процес, основним компонентом якого є вилуговування розчинних гірських порід підземними й поверхневими водами з утворенням крупних порожнин в породах, тобто карсту. Карст найчастіше розвивається в карбонатних породах (вапняках, доломітах), гіпсах, ангідридах, кам'яній, калійній солях.

Утворення карсту часто супроводжується винесенням із перекриваючих і суміжних відкладів дисперсних часточок, осіданням та обваленням покрівлі карстових порожнин. Тому частіше мова йде про комплекс карстово-суфозійних процесів, які формують специфічні наземні та підземні форми рельєфу, карстові порожнини, утворюють карстові відклади.

За формою вияву розрізняють *поверхневий* (відкритий) карст, характерним прикладом якого є Кримська Яйла, і *підземний* (прихований) карст. Підземний карст утворюється у випадку, якщо водорозчинні породи перекриті товщею нерозчинних, але водопроникних порід.

Природними чинниками, які сприяють утворенню карсту, є тріщинуватість порід, розчленований рельєф, наявність потужного підземного стоку, високі швидкості фільтрації, присутність у воді вільної (агресивної) вуглекислоти.

Серйозні проблеми при будівництві створює *просадочність* порід, тобто їхня здібність до осідання під час замочування під дією власної ваги або сумісної дії власної ваги й зовнішнього навантаження. Унаслідок просідання ґрунтів відбувається опускання поверхні землі на величину до кількох десятків сантиметрів. Це призводить до деформацій будівель і споруд, побудованих на просадочних породах. Морфологічними ознаками, які вказують на можливість просадочних явищ на певній території, є такі форми рельєфу, як промоїни, воронки просідання уздовж берегів річок, блюдця просідання на терасах і вододілах. Типовими для України просадочними породами є леси й лесоподібні породи, які створюють у степовій і лісостеповій зонах майже суцільний покрив на вододілах і річкових терасах потужністю від 3 до 40–80 м.

У Дніпропетровській і Запорізькій областях із розвиненою промисловістю майже 80 % господарських об'єктів побудовано на лесових ґрунтах, із них більше ніж у 10 тисячах виявлено істотні деформації. Просідання лесових товщ від власної ваги під час замочування досягають у Дніпропетровську 0,3 – 0,6 м, Нікополі – 1,0 – 1,4 м, Запоріжжі – 1,4 – 2,2 м. Великі збитки від руйнування споруд у таких умовах складають специфіку будівництва на ділянках, де основою споруд є лесові ґрунти. Леси поширені також у Прикавказ'ї, Азово-Кубанській низовині, потужні (до 100 м) лесові товщі характерні для Китаю.

Для міст, розташованих на берегах морів, водосховищ чи великих озер, серйозну проблему становить *переробка берегів* і руйнування споруд у прибережній смузі. Обвалення берегів відбувається внаслідок дії вітрових хвиль. Появу вітрових хвиль спричиняють сили тертя між повітряним потоком і поверхнею води. За Ф. Шепардом, параметри морської хвилі (висота  $H$ , м, і довжина  $L$ , м), залежать від швидкості вітру  $W$ , м/сек, його тривалість  $D$ , сек, і довжини розгону  $F$ , м, тобто розмірів водоймища:  $H, L = f(W, D, F)$ . Сила удару хвилі досягає, за підрахунками В. Зенковича, 0,06–0,07 МПа для внутрішнього моря й 0,30–0,60 МПа для океанів. Припливні хвилі мають невелику енергію



розмиву, але за рахунок висоти припливу, яка в деяких місцях перевищує 10 м, можуть становити значну загрозу для споруд.

Процеси на межі суші й моря поділяють на дві групи: абразійні і акумулятивні. **Абразія** – процес руйнування гірських порід хвилями й течіями в береговій зоні моря, озера або водосховища. Унаслідок винесення абразійного матеріалу утворюються високі та круті абразійні береги. Інтенсивність абразії зумовлена контуром берегової лінії, петрографічним складом порід берегової зони, умовами їхнього залягання, руйнівною силою хвиль, кутом нахилу поверхні шельфу. У деяких місцях серйозну роль в абразійних процесах відіграє антропогенний чинник. Береги, складені вапняками, конгломератами, відносно стійкі до абразії, особливо при падінні пластів у бік моря. Берегові глинисті відклади не тільки розмиваються, але і сповзають вниз при перезволоженні. Поєднання абразії та зсувоутворення характерне для району Одеси. Абразійні процеси й відповідні форми рельєфу спостерігаються також на незакріплених ділянках побережжя Дніпровського каскаду водосховищ.

На узбережжі з пологим берегом хвиля при накопчуванні на мілководдя деформується, розпластується, унаслідок чого втрачає енергію, а сила її удару зменшується. Відкочування хвилі відбувається поволі, маса води, що відступає і просочується через відклади пляжної зони, гальмує наступну хвилю. У цих умовах **акумуляція** наносів переважає над абразійними процесами. Акумуляційні форми, створені хвилями, називають береговими валами, підводними валами, барами. Переміщення наносів уздовж берега, якщо хвилі рухаються під кутом до нього, може відбуватися зі швидкістю 100–700 метрів на добу. Якщо такі новоутворення з піску, гальки і (або) черепашки перевищують рівень моря і відокремлюють від моря лагуни або лимани, їх називають косами й пересипами. Прикладами таких форм рельєфу є Бердянська коса й Арабатська стрілка в Азовському морі, пересип, що відокремлює оз. Донузлав від Чорного моря, чисельні акумуляційні утворення на курортному чорноморському узбережжі Одещини. Будівництво у смузі пляжу або

видалення частини його під час будівельних робіт може призвести до порушення динамічної рівноваги «море – берег», інтенсифікації розмиву берега в одних місцях і накопиченню наносів в інших.

Вияви наслідків техногенного посилення НГП стали типовими для геологічного середовища України в останню чверть XX-го і на початку XXI-го століття. Прикладом може слугувати різке посилення розвитку зсувів на території таких міст, як Полтава, Дніпропетровськ, Куп'янськ та інші. За висновками експертів, це явище пов'язане з перезволоженням ґрунтів, яке, у свою чергу, спричинене здебільшого дисбалансом між обсягами водопостачання й організованого водовідведення, який утворився на територіях, які спіткало це лихо.

Утворення селів на урбанізованих територіях часто провокується техногенною діяльністю, зокрема наявністю техногенних відкладів. У Києві в 1961 р. під час будівництва трамвайно-тролейбусного депо в районі Бабиного Яру здійснювалося планування території методом гідронамивання піску зі зведенням серії дамб у складі комплексу для зневоднення ґрунту. На початку весни у технічному ставку для накопичення фільтрату було відмічено підйом рівня води, але намив продовжували. Уранці 13 березня 1961 р., у неділю, перенасичені водою ґрунти дамби перетворилися на селевий потік, який попрямував на житловий район Куренівку, у якому переважали одноповерхові будинки. Катастрофа супроводжувалася численними людськими жертвами.

Подібна трагедія сталася в жовтні 1966 р. в шахтарському селищі Аберан в Англії. Вуглепородні відвали внаслідок вивітрювання на поверхні впродовж багатьох років перетворилися на пухку суміш глинистих часток, уламків сланців та аргілітів, яка, перенасичена водою внаслідок багатоденних дощів тієї осені, прийшла до руху. Селевий потік, що утворився на відвалі, зі швидкістю 32 км/годину рушив долиною, де було розташоване селище, поглинувши школу, ферму й низку будинків. Жертвами селю стали 144 особи.

Техногенними факторами, які зумовлюють активізацію утворення карсту, є обводнення покривних відкладів, пониження рівня тріщинно-карстових вод, різке коливання рівня підземних вод, наприклад, при відкачуванні підземних вод або при скиданні стічних вод і твердих відходів у карстові порожнини, а також зміна гідрохімічного складу підземних вод. На територіях міських агломерацій розвитку карсту сприяє формування значних за розмірами депресійних воронок у районах підземних водозаборів (Краматорськ, Луганськ, Рівне). Так, антропогенна активізація сульфатного карсту створює загрозу забудові південно-західної частини Львова й охоплює до 30 % території міста.

Осідання поверхні землі, провали, деформація фундаментів будинків спостерігається також у районах розробки корисних копалин із використанням підземних гірничих виробок, які утворюють штучні порожнини. Прикладом міст в Україні, де вияви таких явищ створюють серйозні проблеми, є Кривий Ріг, Одеса, Залещики, Стебник, Хотин, Білозерськ, Горлівка, Донецьк, Макіївка. Так, 13 червня 2010 року на криворізькій залізорудній шахті ім. Орджонікідзе гірські породи над виробленими за 20 років підземними порожнинами обвалилися й утворили величезний провал об'ємом близько 7 млн м<sup>3</sup>, поховавши під собою чотири автомобілі й одну людину. Провал зруйнував підземні комунікації, лінії електропередачі і поставив під загрозу життя мешканців селища ім. Горького, розташованого неподалік місця техногенної катастрофи.

Крупна катастрофа, пов'язана з процесами підробки території гірничими виробками й інтенсифікацією утворення карсту, відбулася в серпні 1964 р. у Трансваалі (Південна Африка). Там поблизу золотодобувного підприємства утворився провал, куди обвалилися будівлі, 29 осіб загинуло. Причиною стало порушення стійкості покрівлі порід, у яких швидко розвивався карст при зниженні рівня ґрунтових вод на 300 м, що було пов'язане з техногенною діяльністю й нехтуванням змін, які відбувалися в довкіллі.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**

### **ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЛІТОСФЕРИ МІСТА**

#### **Тема 4 Засади і методи оцінки екологічної безпеки літосфери міста**

На кожному рівні моніторингу довкілля можна виокремити підсистеми контролю, прогнозування й управління станом геологічного середовища. Контроль становить комплекс заходів, який дає змогу оцінити стан геологічного середовища для його моделювання і прогнозування виявів небезпечних процесів. Під управлінням розуміють розробку й реалізацію заходів, необхідних для попередження виявів чи ліквідації наслідків небезпечних геологічних процесів.

Зведення споруд, забудова й перепланування території завжди пов'язані з певним ризиком, мірилом якого є можливі фінансові збитки чи навіть людські жертви внаслідок спровокованої активізації небезпечних геологічних процесів. Для зниження ризиків та успішного виконання плану забудови території прийняттю відповідного рішення має передувати інженерно-геологічний прогноз, тобто науково обґрунтоване передбачення з визначеною точністю можливості вияву тих чи інших геологічних процесів, пов'язаних із еволюцією геологічного середовища й даного природно-техногенного комплексу. Це дозволить завчасно підготувати територію для захисту споруд і населення від небезпечних явищ.

Для міст і знову забудовуваних територій прогнози розвитку небезпечних геологічних процесів розробляються на основі геологічної моделі середовища, яка включає комплект карт і розрізів різної специфіки (геологічних, геоморфологічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних тощо), і даних моніторингу, які створюють прогнозний фон. Прогноз реалізується у схемі або плані заходів із захисту територій від небезпечних геологічних процесів.

Останніми роками для збирання даних, їхнього зберігання, аналізу і представлення інформації, що належить до геологічного середовища, використовують комп'ютерні технології, об'єднані в географічну інформаційну

систему (ГІС). Використання цієї системи дозволяє на базі наявних даних швидко отримувати новий інформаційний продукт, зокрема прогнозні карти. При розгляді альтернативних варіантів захисту, окрім геологічних та екологічних аспектів, ураховують технічні й економічні можливості реалізації запропонованих заходів.

### **Тема 5 Оцінка ризиків, пов'язаних з геологічним середовищем**

Принциповою особливістю геологічного середовища є його здатність накопичувати в своїй системі практично всі види техногенезу на суміжні елементи довкілля: атмосферу, гідросферу та біосферу. Найбільш складний прояв екологічних параметрів геологічного середовища пов'язаний з біогеохімічними циклами, які розвиваються в регіональному плані на ландшафтно-геохімічній основі.

Сучасні оцінки розвитку геологічного середовища в умовах техногенезу свідчать про необхідність чіткого розрізнення небезпечності геологічного середовища та геологічного ризику геологічного середовища. Ведучий вплив техногенно-геологічної системи «техногенний об'єкт – геологічне середовище» обумовлює формування екологічного ризику в зоні її розвитку, де можлива негативна дія геологічного середовища не тільки на об'єкти життєдіяльності людини, але й на її здоров'я і життя. Екологічний ризик – це кількісна оцінка впливу існуючої чи виникаючої в умовах техногенезу небезпеки геологічного середовища на здоров'я, життя чи об'єкти життєдіяльності людини. Можна виділити такі елементи екологічного ризику, пов'язаного з геологічним середовищем:

- геохімічний (радіогеохімічний),  $r_{ГХ}$ ;
- гідрогеохімічний,  $r_{ГГ}$ ;
- інженерно-гідрогеологічний,  $r_{ІГ}$ ;
- інженерно-сейсмологічний,  $r_{ІСГ}$ .

Таким чином, розрахункова величина екологічного ризику  $R_{гс}$  може бути виражена залежністю:

$$R_{гс} = r_{гх} + r_{гг} + r_{гг} + r_{гсг}$$

Найбільш повною розробленістю відрізняється оцінка радіогеохімічного ризику, який базується на оцінці внутрішньої (переважно пов'язаної з харчовим ланцюгом) і зовнішньої (радіогеохімічне забруднення ландшафту) фаз. В загальному плані ризик визначається як добуток об'єму надходження до організму людини радіонуклідів  $O_p$  або інших забрудників  $O_k$  (в кратності перевищення ГДК) на дозовий коефіцієнт  $D$  (для радіонуклідів) і коефіцієнт ризику за кожним із забрудників  $K$ :

$$r_{гх} = \sum O_p \cdot D \cdot K_{ip} + \sum O_k \cdot K_{iz}$$

Інженерно-геологічний ризик в загальному плані зв'язаний переважно з ураженістю екзогенними геологічними процесами  $f$ , яка в раді випадків може бути виражена як відношення площі проявів небезпечних процесів до загальної площі регіону з часом розвитку  $t$  (років):

$$r_{н.г.п.} = f / (F \cdot t)$$

Для оцінки інженерно-геологічного ризику необхідно врахувати щільність забудови  $K_3$  в регіоні, що оцінюється, тобто надати кількісну оцінку:

$$r_{гг} = K_3 \cdot r_{н.г.п.}$$

Інженерно-сейсмологічний ризик визначається частотою проявів сильних землетрусів ( $T$ , років):

$$r_{гсг} = I/T$$

Аналіз структури елементів екологічного ризику свідчить про постійність лії в основному двох факторів – геохімічного та гідрогеохімічного при переважанні першого з них. Даний висновок має принципове значення, тому що гідрогеохімічний вплив геологічного середовища в значній мірі знижується під сорбційним впливом ґрунтів, а потім здатністю підземної гідросфери до розбавлення.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3**

### **СИСТЕМА ІНЖЕНЕРНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА**

#### **Тема 6 Моніторинг геологічного середовища**

Моніторинг геологічного середовища – система спостережень, збирання, оброблення, передавання, зберігання та аналізу інформації про стан геологічного середовища, прогнозування його змін, розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних рішень. Моніторинг стану геологічного середовища проводиться щодо: екзогенних та ендегенних геодинамічних процесів (у тому числі визначення їх просторових і видових характеристик, активності проявів); геохімічних показників (у тому числі визначення вмісту та поширення природних і техногенних хімічних елементів та сполук); геофізичних полів; підземних вод (у тому числі оцінки ресурсів, їх гідрогеологічних та гідрохімічних показників і властивостей).

Основними завданнями моніторингу геологічного середовища є:

- проведення регулярних і вибіркового спостережень стану геологічного середовища і джерел його забруднення, а саме: підземних вод, ґрунтів і донних відкладів, екзогенних геологічних процесів, ендегенних геологічних процесів, джерел негативного природного та антропогенного впливу на геологічне середовище;
- збирання, узагальнення та аналіз показників стану геологічного середовища, прогнозування його змін внаслідок антропогенної діяльності;
- розробка рекомендацій та інформаційна підтримка прийняття управлінських рішень щодо планування і здійснення природоохоронних заходів для поліпшення екологічних умов геологічного та загалом навколишнього природного середовища.

Завдання та регламент проведення моніторингу геологічного середовища встановлюються вимогами Положення про державну систему моніторингу довкілля, затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України №391 від 30 березня 1998 р.

## Тема 7 Інженерні методи захисту територій від небезпечних геологічних процесів та ліквідації їх наслідків

Під час вибору місця будівництва майбутньої споруди в районах із підвищеною *сейсмічністю*, а також проектування споруди необхідно зважати на ті чинники геологічного середовища, що можуть впливати на посилення власних коливань будівлі під час землетрусу. Для підвищення вібраційної міцності та стійкості споруд і їхніх підвалин застосовують *конструктивні* заходи (жорсткі каркаси, анкери тощо) й *укріплювальні* заходи (поліпшення властивостей ґрунтів підвалин). Будівництво в районах із сейсмічністю більше дев'яти балів не допускається.

При захисті від поширених на території нашої країни *зсувних процесів*, а також обвалів обривистих схилів використовують активний і пасивний захист об'єктів. *Активний захист* включає як інженерні, так і управлінські рішення. До інженерних заходів зараховують:

- зміну рельєфу схилу з метою підвищення його стійкості;
- регулювання стоку поверхневих вод за допомогою системи поверхневого водовідведення, запобігання інфільтрації води у ґрунт і підстилаючі шари порід, протиерозійні заходи;
- штучне зниження рівня підземних вод;
- агролісомеліорацію;
- закріплення рихлих і тріщинуватих порід, що складають схили;
- будівництво спеціальних споруд для утримування схилу.

До управлінських заходів зараховують установлення охоронних зон, обмеження або заборону руху транспорту, інші подібні рішення.

Заходи з *пасивного захисту* об'єктів можуть використовуватися за недоцільності вживання заходів із групи активних або для їхнього доповнення. До пасивних заходів можна зарахувати пристосування споруд до обтікання їх зсувом чи установлення вловлювальних споруд.



**Протиселевий** захист територій включає створення комплексу спеціальних захисних споруд і системи організаційно-технічних заходів. До складу споруд, які затримують чи спрямовують селевий потік, входять дамби, канали, селеспуски, мости. Для послаблення динамічних характеристик селевого потоку та припинення його руху використовують каскади запруд, дренажні елементи у спорудах, терасування схилів і їхню агролісомеліорацію. Для запобігання формування селевих потоків споруджують дамби, які регулюють паводок, водоскиди на озерних перемичках, а також греблі для перехоплення селевого потоку на початковому етапі його формування. Служба спостереження та сповіщення покликана оперативно інформувати населення міст, яким загрожують селеві потоки, про прогноз розвитку небезпечної ситуації.

Із метою захисту ґрунтового покриву міської території від **ерозії** необхідно забезпечити організоване відведення поверхневого стоку й регулювання його випуску, що неможливо без розвитку мережі зливової каналізації та її надійного функціонування. На вільних ділянках території міста проводиться посів трав, посадка дерев і чагарників.

Попередження **суфозійних деформацій** у незв'язних осадових породах, які сприяють порушенню стійкості схилів і розвитку карстових процесів, ґрунтується на зниженні напірного градієнту потоку, подовженні його шляху фільтрації, зменшенні фільтраційного діаметру пор у ґрунті й передбачає проведення наступних інженерних заходів:

- улаштування привантаження з водонепроникних порід у місцях виходу на поверхню висхідного фільтраційного потоку;
- будівництво дренажів для зниження рівня ґрунтових вод із використанням зворотних фільтрів та обсіпки дренажних труб;
- використання фільтраційних завіс для подовження шляху фільтрації ґрунтового потоку.

**Протикарстові заходи** залежать від особливостей порід, які карстуються, умов їхнього залягання, специфіки споруд, які підлягають захисту, і можуть включати такі інженерні рішення:

- заповнювання карстових порожнин ґрунтами або штучними сумішами, які не фільтрують;
- створювання на ділянці забудови штучного водотривкого шару і протифільтраційних завіс;
- понижування рівню ґрунтових вод і регулювання їхнього режиму;
- організацію відведення поверхневого стоку;
- заглиблювання фундаментів будівель і споруд нижче зони небезпечних карстових проявів.

Для запобігання явищ **просадки** лесів і лесоподібних порід під час будівництва у степовій і лісостеповій зоні, де вони широко розповсюджені, передбачені наступні інженерні заходи:

- відведення дощових і талих вод від майданчика забудови;
- гідроізоляція поверхні для попередження інфільтрації;
- попереднє замочування лесових порід із їхнім доущільненням;
- меліорація лесоподібних порід з використанням методів силікатизації чи обпалювання;
- прорізка лесових порід глибокими фундаментами до їхнього обпирання на непросадочні ґрунти.

Для територій, які згідно діючих норм зараховують до підтоплених або яким загрожує **підтоплення**, необхідно провести аналіз чинників, які впливають на підйом рівня ґрунтових вод, для визначення тих, що є основними для певної конкретної ситуації. Схема проведення аналізу наведена на рисунку 3.1.

### Поповнення ґрунтових вод

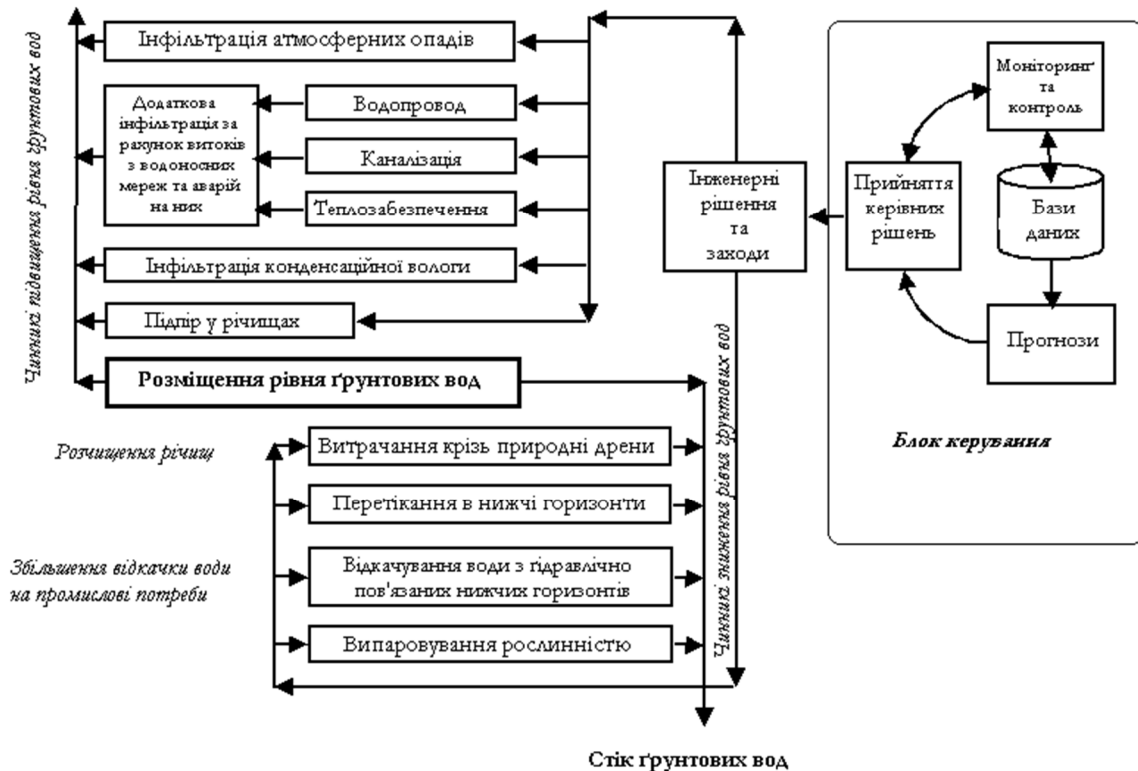


Рисунок 3.1 – Системний підхід до забезпечення регулювання рівня ґрунтових вод на території міст та інших населених пунктів

Залежно від ситуації можуть пропонуватися такі інженерні заходи:

- організація рельєфу, що забезпечує розвантаження підземних вод;
- створення чи реконструкція системи водостоків;
- ліквідація витоків із наземних і підземних водопровідних, каналізаційних систем, теплових мереж;
- створення на території дренажної системи;
- застосування локальних засобів інженерного захисту – дренажів різної конструкції (вертикального, горизонтального, комбінованого);
- використання гідроізоляційних покриттів та інше.

Меандрування річок на території міста є небажаним явищем, і для його усунення проводять випрямлення й поглиблення річища, а також укріплення берегів. Випрямлення й поглиблення річища сприяє збільшенню швидкості та зростанню транспортуючої сили водного потоку, тобто посиленню **річкової ерозії**. При виході потоку з випрямленої ділянки можливе відкладення наносів,

що ним транспортувалися. Для укріплення берегів використовують захисні споруди й такі, що необхідним чином спрямовують водяний потік. На увігнутих берегах це, звичайно, повздожні дамби, набережні, бетонні берегопоглиблювальні споруди. За відсутності набережних на випуклих ділянках створюють споруди, що затримують наноси і сприяють нарощуванню розмитого берега. Із технічними методами берегоукріплення комбінують біологічні у вигляді лісонасаджень уздовж берегів, висіву трав на відкосах дамб і берегів.

При захисті берегів від *абразії* у приморських містах створюють активні берегові споруди, які, використовуючи енергію потоку для намівання наносів, сприяють збереженню й розширенню пляжної зони. До таких споруд зараховують галечникові та піщані пляжі, які у поєднанні з бунами й підводними хвилерізами гасять енергію хвиль. Уздовжберегові споруди, що гасять хвилі, застосовують також у поєднанні з широкою залізобетонною плитою, яка слугує штучним пляжем. Такий захист прибережної зони використано на узбережжі Чорного моря в Алушті. До пасивних споруд, що перешкоджають розмиву берегів завдяки міцності своїх елементів, належать хвилерізні стінки, набережні, насипи з масивних фігурних блоків. Ці споруди, не дивлячись на міцність, усе ж таки руйнуються, і тому повинні використовуватися у поєднанні з конструкціями активного типу.

### ***Технічна меліорація ґрунтів***

Якщо у гірських порід, на яких або в яких будують споруду, деякі характеристики не відповідають певним вимогам (наприклад, мають недостатню міцність, підвищену деформативність або недостатню водотривкість тощо), що може призвести до розвитку небезпечних процесів, провадять спеціальні заходи для змінення в необхідному напрямку їхніх властивостей, що називаються *технічною меліорацією* ґрунтів. Під час розробки й вибору засобів меліорації виходять зі специфіки різних типів гірських порід, обумовленої характером унутрішніх зв'язків між частинками.

Способи технічної меліорації, які застосовують для скельових, напівскельових, пухких незв'язних порід і порід з водно-колоїдними зв'язками, різняться, але загалом серед них за основним механізмом дії можна виокремити фізичні, фізико-хімічні й хімічні.

**Фізичні методи** використовують для ущільнення порід із метою зменшення їхньої пористості та зміни структурних особливостей. Ущільнення здійснюють укочуванням, трамбуванням, вібрацією, інколи за допомогою спрямованого вибуху. Так, укочування й вібрацію використовують для ущільнення основи під дорожнє покриття, трамбування – під час підготовки основи фундаменту. Для зміцнення дисперсних пилювато-глинистих порід використовують випалення або заморожування. Заморожування широко застосовують під час проходці трас метрополітену й тунелів різного призначення для закріплення обводнених піщаних, глинистих, лесових порід у випадках, коли існує небезпека прориву пливунів. Термічне зміцнення знаходить застосування під час ліквідації аварійного осідання споруд на лесових породах.

**Фізико-хімічні** методи спрямовані на зміну структури порід, збільшення їхньої водовіддачі, зміну обмінних характеристик порід і ґрунтів, створення в них нових хімічних сполук. До групи цих методів належить електрохімічне закріплення порід шляхом пропускання постійного електричного струму, іноді з додаванням розчинів хімічних речовин, які сприяють утворенню нових структурних зв'язків, гідрофобізація порід, глинізація, осолонцювання. Ці методи застосовують переважно для обробки пилювато-глинистих порід.

**Хімічні методи** передбачають використання різних речовин для поверхневого та глибинного зміцнення порід і підвищення їхньої водонепроникності. Поверхнєве зміцнення проводять шляхом створення покриттів, гідроізоляції, зміцнення поверхні підземних споруд. Глибинне зміцнення забезпечується нагнітанням у товщу порід цементних розчинів, рідкого скла, смол, бітумів.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаменко О. М. Екологічна геологія / О. М. Адаменко, Г. І. Рудько. – Київ : Манускрипт, 1998. – 352 с.
2. Боков В. А. Основы экологической безопасности / В. А. Боков, А. В. Лущик. – Симферополь : СОНАТ, 1998. – 224 с.
3. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / Шестопалов В. М. и др.; АН УССР, Ин-т геол. наук. – Киев : Наукова думка, 1991. – 528 с.
4. Всеволожский В. А. Основы гидрогеологии / В. А. Всеволожский. – М. : Издательство МГУ, 2007. – 448 с.
5. ДБН В.1.1-24-2009. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. – Чинні від 01.01.2011 р. – Київ : Мінрегіонбуд, 2010. – 55 с.
6. ДБН В.1.1-25:2009 Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. – Чинні від 01.01.2011 р. – Київ : Мінрегіонбуд, 2010. – 91 с.
7. ДСТУ Б В.2.1-5-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. – Чинний від 01.04.1997 р. – Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1998. – 24 с.
8. Екологічна геологія: підручник / за ред. М. М. Коржнева – Київ : ВПЦ «Київський університет». – 2005. – 257 с.
9. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека та охорона довкілля : монографія / Д. В. Зеркалов. – Київ : Основа, 2012. – 514 с.
10. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов / Г. Л. Кофф, Т. Б. Минакова, Л. В. Бахирева и др. – М. : Наука, 1990. – 197 с.
11. Крайнов С. Р. Гидрогеохимия / С. Р. Крайнов, В. К. Швец. – М. : Недра, 1992. – 462 с.

12. Малишева Л. Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій / Л. Л. Малишева. – Київ : Видавництво Київського університету ім. Т. Шевченка, 1998. – 131 с.
13. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: пособие к СНиП 2.06.15-85 Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. – М. : Стройиздат, 1991. – 273 с.
14. Рудько Г. І. Техногенна екологічна безпека геологічного середовища / Г. І. Рудько. – Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2001. – 359 с.
15. Рудько Г. І. Екологічний моніторинг геологічного середовища / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко. – Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2001. – 260 с.
16. Саєт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саєт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
17. Экология города: учебник/ под ред. Ф. В. Стольберга, В. Н. Ладыженского. – Киев : Лібра, 2000. – 464 с.
18. Groundwater Ecology / edited by J. Gilbert, D. Danielopol, J. Stanford. – Academic Press, 1994. – 571 p.
19. Keller E. Environmental Geology, 9-th edition. – Pearson Education, Inc., 2011. – 600 p.
20. Knödel K. Environmental Geology: Handbook of Field Methods and Case Studies / K. Knödel, G. Lange, H. Voigt. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – 1358 p.
21. Montgomery C. Environmental Geology, 9-th edition. – McGraw-Hill, 2011. – 561 p.
22. Sarsby R. Environmental Geotechnics, 2-nd edition. – London : ICE Publishing, 2013. – 538 p.

*Навчальне видання*

ДЯДІН Дмитро Володимирович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

**«ІНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЛІТОСФЕРИ МІСТА»**

*(для студентів 5 курсу денної форми навчання  
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»  
за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Відповідальний за випуск *Т. В. Дмитренко*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарової*

План 2016, поз. 45 Л

---

Підп. до друку 16.06.2017 р.  
Друк на різнографі  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 1,3  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.